

22. September 2022, Erfa Verpackungen

BEWERTUNG VON FALLFUNDAMENTEN IN DER MECHANISCHEN SICHERHEITSPRÜFUNG VON GEFAHRGUTVERPACKUNGEN

NIKOLAOS LENGAS¹, KARSTEN MÜLLER¹, EVA SCHLICK-HASPER¹,
MARCEL NEITSCH¹, SERGEJ JOHANN¹, MANFRED W. ZEHN²

¹BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM)

²TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN (TUB)

www.bam.de

Baumusterprüfung - Fallprüfung

Motivation

Beurteilung des Widerstands einer Verpackung gegen mechanisches Versagen in einer Transportkette, die Stoßbeanspruchungen einschließt.

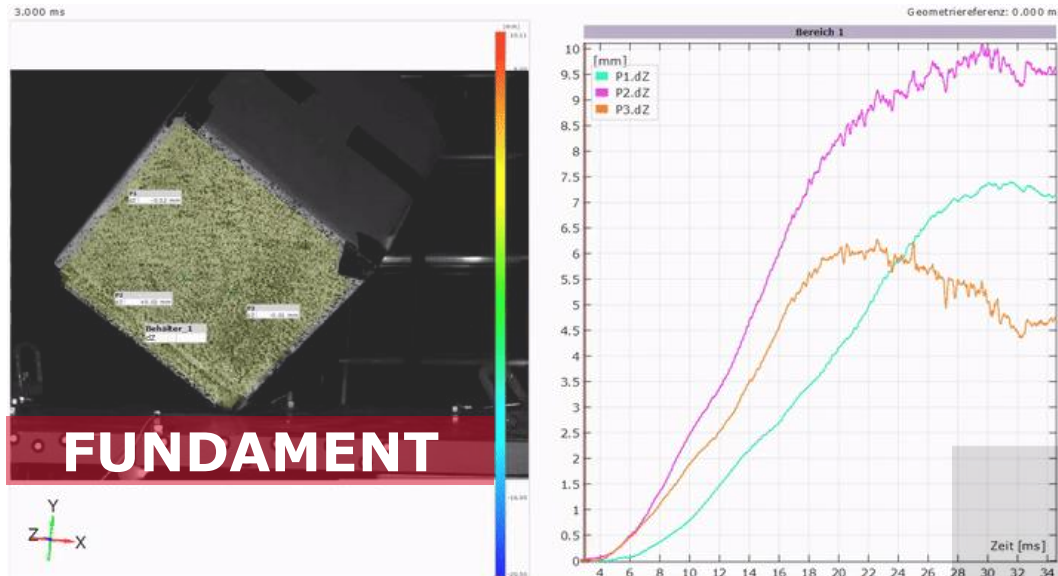


Abb. 1: Fallprüfung mit Wellpappkiste

Fallfundament
↓
unnachgiebig

Mechanische und geometrische Eigenschaften des Fallfundaments

Ergebnis der Fallprüfung



Abb. 2: Fallprüfung mit Stahlfass

ADR 6.1.5.3¹: **Aufprallfläche-Anforderungen**

ISO 2248²

1

Bestandteil eines integralen Stücks mit einer **Masse**, die **mindestens das 50fache** des Packstücks beträgt.

2

keine Überschreitung einer 2 mm Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt zulässig

3

maximale Verbiegung von 0,1 mm bei statischer Belastung einer auf 100 mm² verteilten Masse von 10 kg an beliebiger Stelle der Oberfläche

4

Ausreichend groß, so dass das zu prüfende Packstück vollständig auf die Aufprallfläche trifft.

¹ UNECE. Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR). Accessed January 1, 2021.

² ISO 2248: 1985-12. Packaging—complete, filled transport packages—vertical impact test by dropping. International Organization for Standardization.

Baumusterprüfung - Fallprüfung

Fallfundamente - fertigungsbegleitende Prüfung

07.06.2016 Verband der Wellpappen-Industrie e. V. (VDW)

Werk	Bruttomasse, kg	Fallfundament	Externe Prüfung	Kosten
Werk 1	100	1x1m / 20cm Dicke	ja, alles über 100kg	ca. € 5.000,00
Werk 2	50	2cm <u>Stahlplatte</u>	ja, alles über 50kg	ca. € 10.000,00
Werk 3	60	Keines	ja, alle GG-Aufträge	ca. € 18.000,00
Werk 4	55	3x3m	nein	ca. € 10.000,00
Werk 5	44	1,8x1,25m+15mm <u>Stahlplatte</u>	ja, alles über 44kg	ca. € 15.000,00
Werk 6	100	1,2x1x0,5m+25mm <u>Stahlplatte</u>	nein	entspricht der Vorschrift
Werk 7	72	1,7x1,7x0,5m+10mm <u>Stahlplatte</u>	nein	entspricht der Vorschrift
Werk 8	25	Hallenboden	nein	ca. € 15.000,00
Werk 9	530	2,3x2,3x1,5m+25mm <u>Stahlplatte</u>	nein	entspricht der Vorschrift
Werk 10	80	1,3x1,3x1,05 m	nein	kein Bedarf
Werk 11	125	2,0x2,0x0,66 m	nein	kein Bedarf
Werk 12	55	1,2x1,0x1,0 m (3 t) + <u>Stahlplatte</u>	nein	
Werk 13	1300	2,0x2,0x4,0 + <u>Stahlplatte</u> (65 t)		kein Bedarf
Werk 14	110	1,3x1,6 m + <u>Stahlplatte</u> (10 t)		€ 1.500,00 für 30 mm Stahlplatte
Werk 15	400	2,5x2,5x1,45 m + <u>Stahlplatte</u> 2,0x2,0x0,01m	nein	
Werk 16	55	1,2x1,0x1,0 m (3 t) + <u>Stahlplatte</u>	nein	Baukosten ca. € 2.500,00
Werk 17	40	Industrieboden + <u>Stahlplatte</u> 1,02x1,02x0,13 m	ja, alles über 40 kg	ca. € 20.000,00 für 4,0x4,0x2,0 + 6 mm Stahlpl. (Octabin bis 1,5 t)
Werk 18	440	2,4x2,0x2,0 m + <u>Stahlplatte</u> 0,03 m		
Werk 19	100	1,9x1,3x0,8 m+ <u>Stahlplatte</u> 0,015 m	ja, alles über 100kg	kein Bedarf
Werk 20	74	1,65x1,28x0,65 m	nein	kein Interesse
Werk 21	100	2,0x2,0x0,5 m + <u>Stahlplatte</u> 0,050 m	nein	keine Angaben

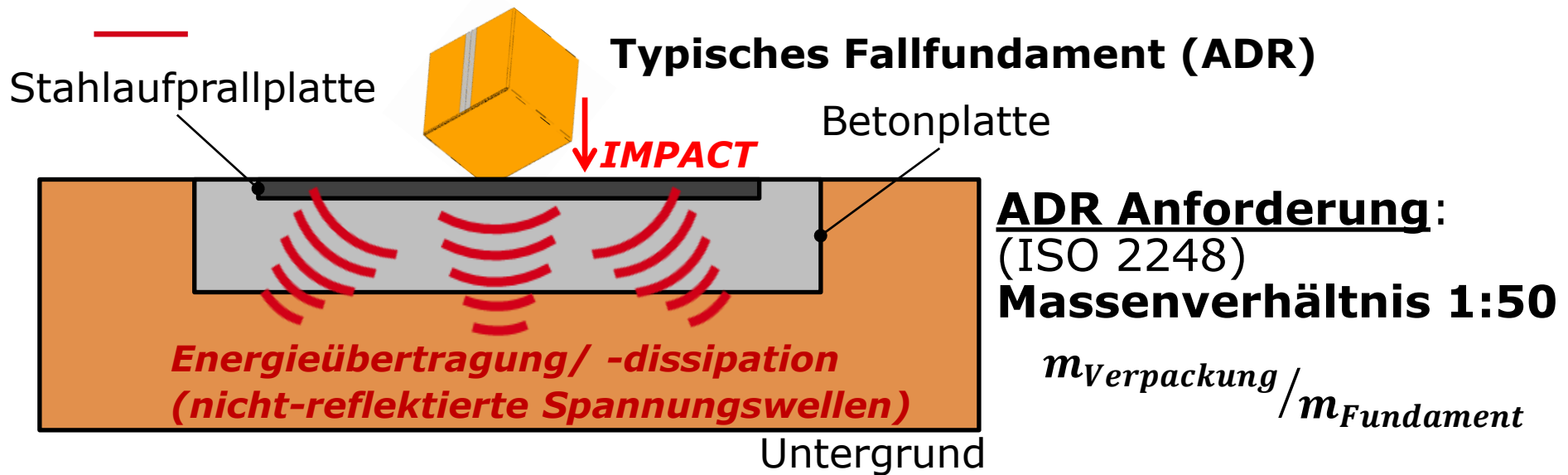
Baumusterprüfung - Fallprüfung

Problemstellung

Produktionsstätten, insbesondere **Wellpappkistenhersteller**, verfügen selbst häufig nicht über Fallfundamente mit dem geforderten **50-fachen Massenverhältnis** für das gemäß **ADR** vorgeschriebene Baumusterprüfverfahren.

Durchführung messtechnisch instrumentierter Fallprüfungen meistens nicht möglich.

Fragestellung: Welchen Einfluss hat das **Massenverhältnis** auf das Versagensverhalten konkreter Verpackungsbauarten bei sonst gleichen Konstellationen?



Zentrales Ziel:

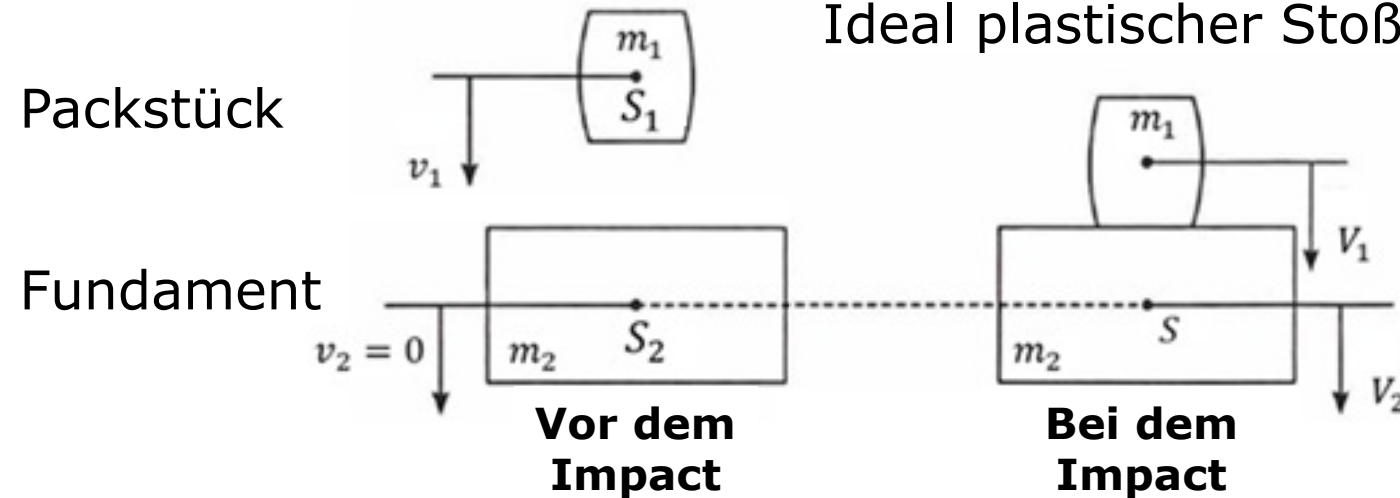
Entwicklung und Verifizierung eines weiterentwickelten Untersuchungs- und Prüfkonzpts

- Beitrag zur Sicherheitsbewertung von Gefahrgutverpackungen
- Überprüfung der Eignung von bereits verbauten Fallfundamenten

Untersuchung der **Abhängigkeit** zwischen dem **Massenverhältnis** des **Fallfundaments** und der Beurteilung des **Widerstands gegen Versagen** einer **Verpackung** gemäß **ADR** und **ISO 2248**

Einfluss des Massenverhältnisses Energieübertragung beim Stoß (freier Fall)

Ideal plastischer Stoß



Energieanteil in Fundamentbewegung

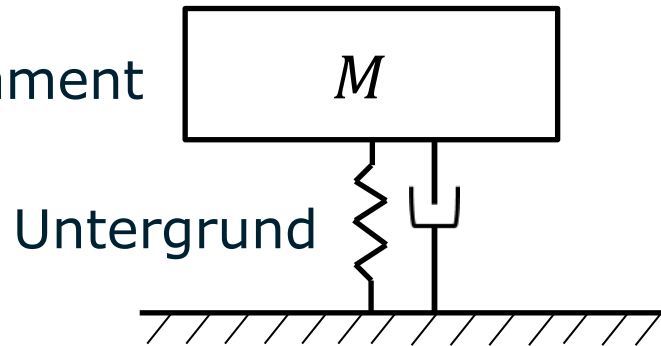
Massenverhältnis **1:50** nach ISO 2248

$$\delta = \frac{E_{kin, \text{ bei dem Impact}}}{E_{kin, \text{ vor dem Impact}}} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} = \mathbf{1.96 \%}$$

GRENZWERT

Systematische Untersuchungen Versuchsaufbau

Fallfundament



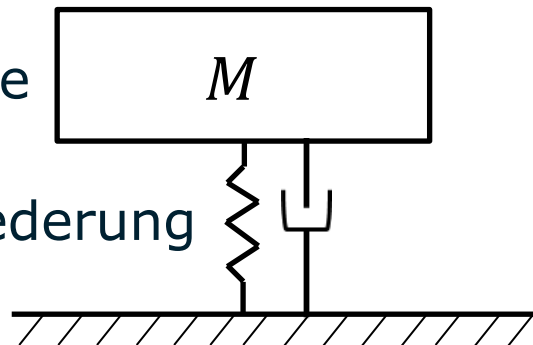
verbaute Fundamente

**Energieübertragung außerhalb der Fundamentstruktur
minimieren/kontrollieren**



Stahlaufprallplatte

dämpfungsarme Federung



*Modellfundamente
zwecks
systematischer
Untersuchungen*

Systematische Untersuchungen

Versuchsaufbau - Fallversuch

Modellfundamente (validiert nach ISO 2248)

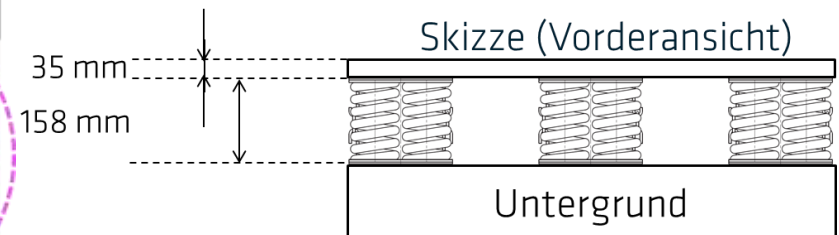
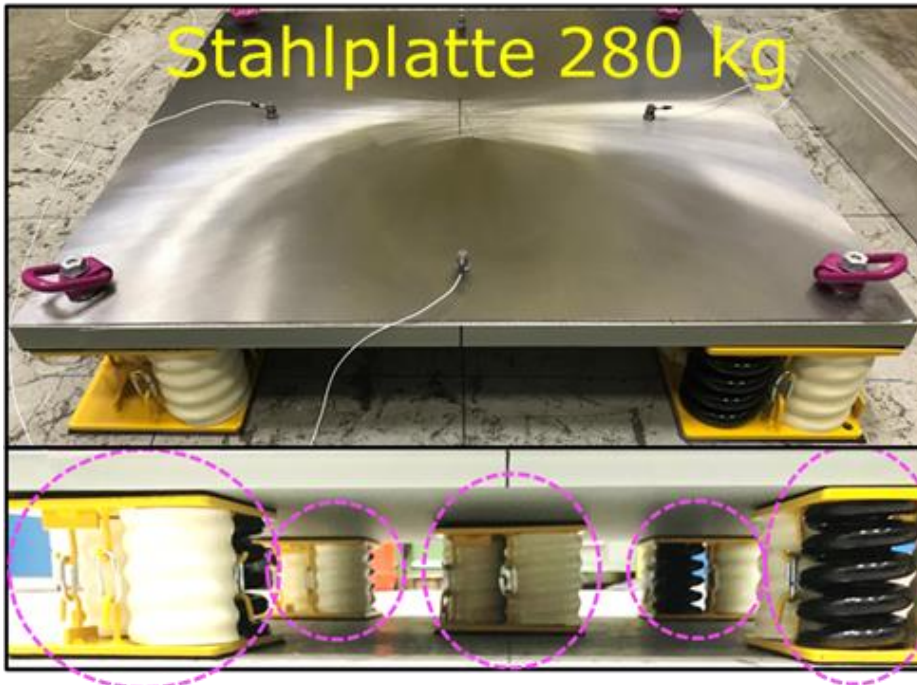
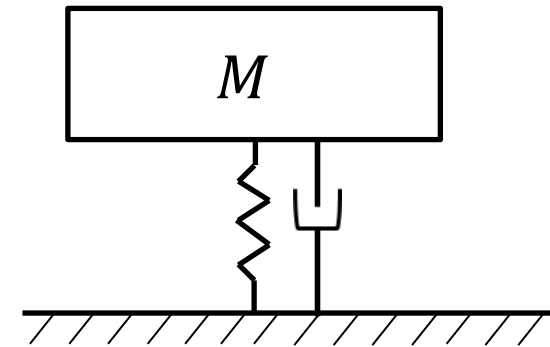
Stahlplatten

$m = 280/560/960 \text{ kg}$

$d = 35/70/120 \text{ mm}$

Massenverhältnisse
1:15, 1:30, 1:50

gelagert auf **5 Federelementen**



Systematische Untersuchungen Einfluss des Massenverhältnisses

Verpackungs- bauarten nach ADR 6.1.2.7

**4G = Kiste aus
Wellpappe**

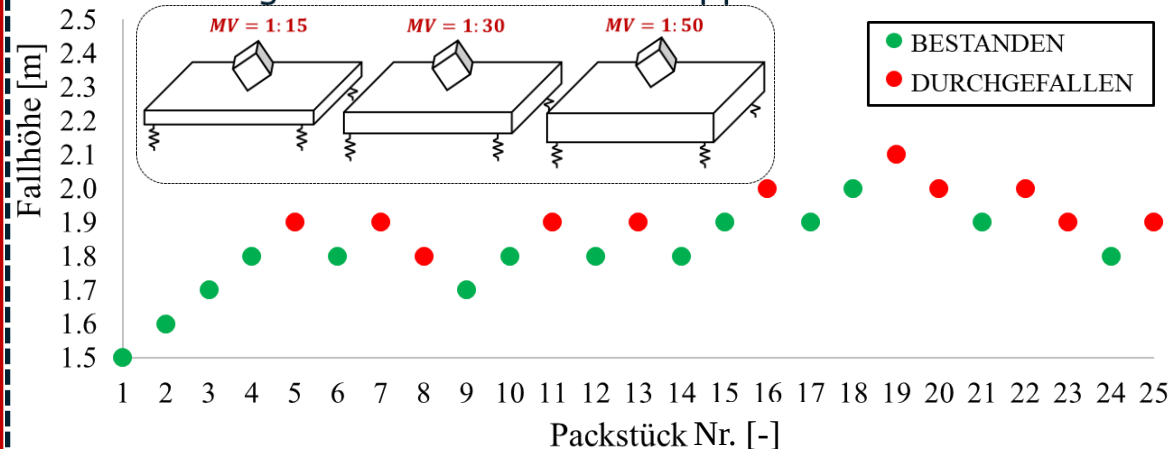


**1A2 = Fass aus
Stahl
mit
abnehmbarem
Deckel**



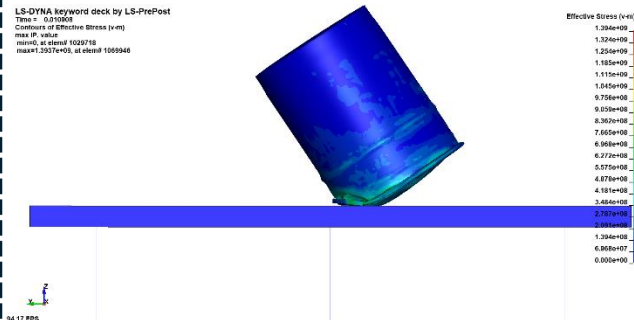
Experimentell: Mittlere Versagensfallhöhe

- Fallhöhe, bei der 50 % der Verpackungen versagen
- Ermittlung über das Bruceton-Treppenstufenverfahren



Finite-Elemente-Analysen

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost
Time = 0.01000
Contours of Effective Stress (v-m)
max (P) = 1.394e+08
min(P) = 0.000e+00
max(1) = 1.394e+08, at element 1000000
max(2) = 1.394e+08, at element 1000000



Systematische Untersuchungen

Versuchsdurchführung

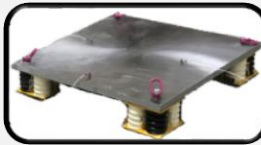
Modellfundamente

Stahlaufprallplatten

(280 kg, 560 kg, 960 kg)

Lagerung

Matrix von
Federelementen



Verpackungen

1A2, 4G (ADR 6.1.2.7)
(18 kg)



Ersatzfüllgut

Glaskugeln,
PMMA Pulver



Messverfahren - **IMPACT**

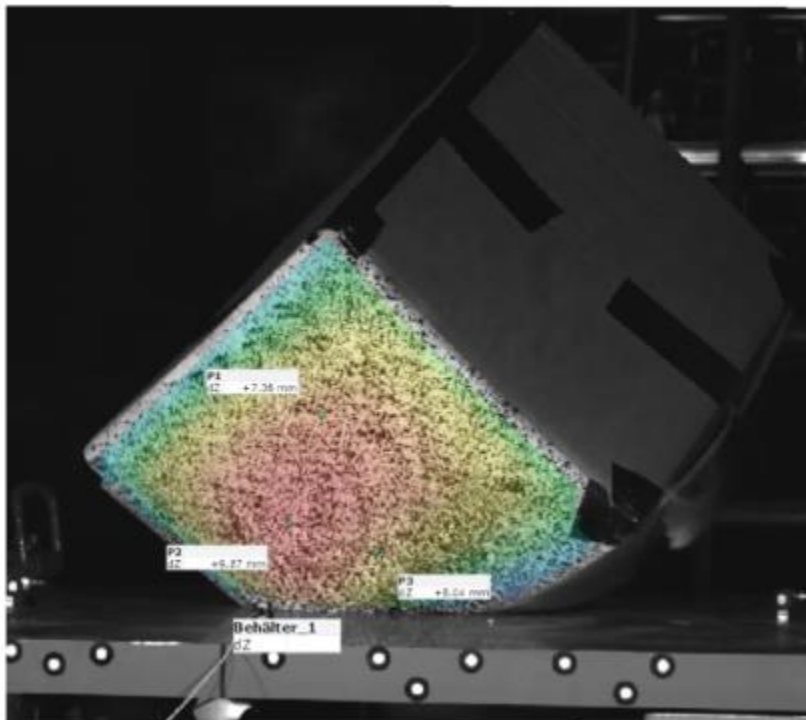
Experimente

- Messtechnik, Instrumentierung
- Identifikation von Einflussparametern auf das Versagen

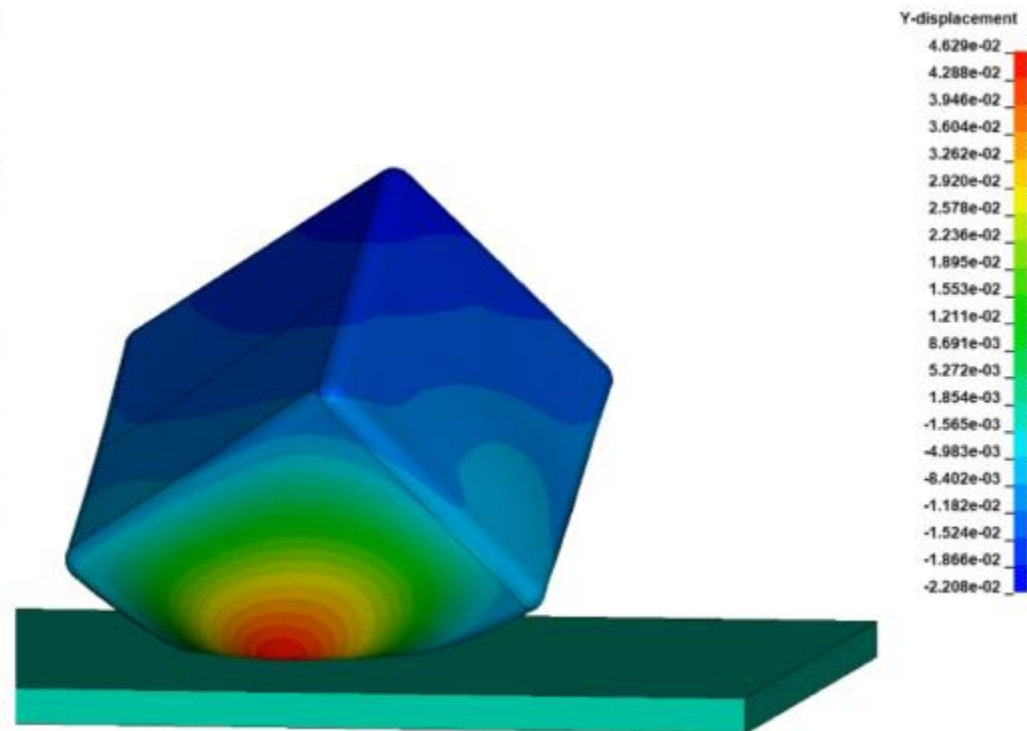
Simulationen

- Parameterstudien
→ funktionale Zusammenhänge zwischen Fallfundamenteigenschaften und Versuchsgrößen
- Formulierung weiterentwickelter Bewertungskriterien für die Fallprüfung

3D Bildkorrelationsverfahren (High-Speed-Kamera)



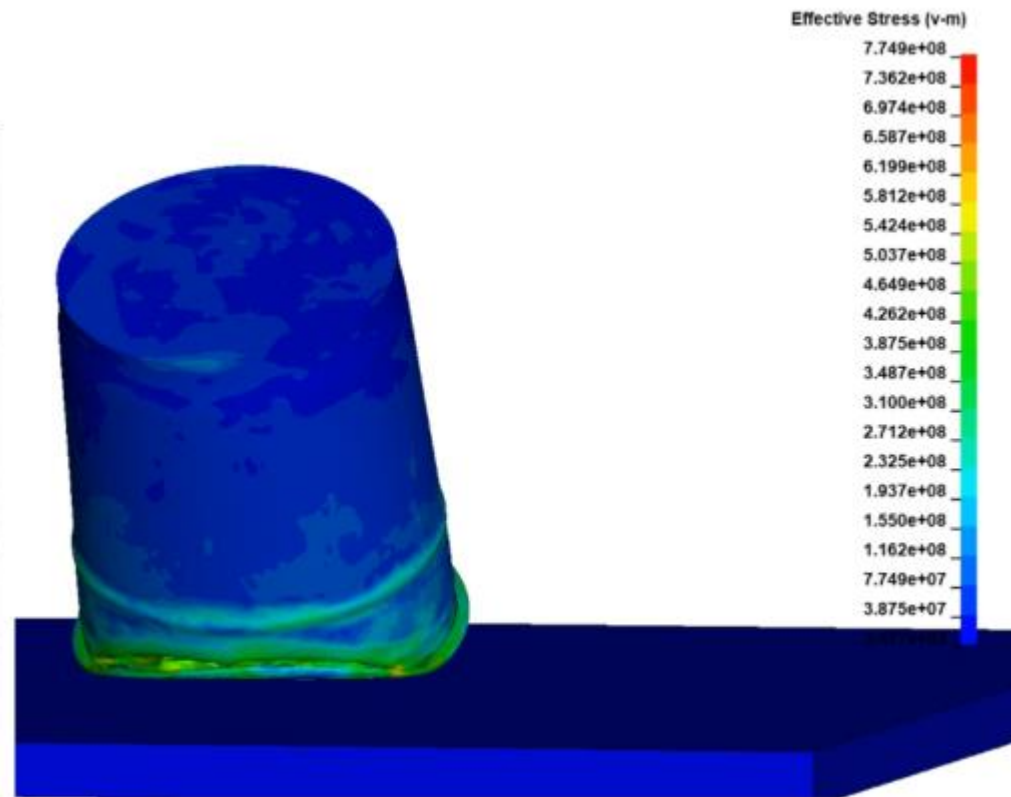
Finite-Elemente-Analyse (FEA)



3D Bildkorrelationsverfahren (High-Speed-Kamera)



Finite-Elemente-Analyse (FEA)



Voruntersuchungen

Energieübertragung beim IMPACT (freier Fall)

Baumusterprüfungen von versandfertigen 18 kg schweren Gefahrgutverpackungen

IMPACT

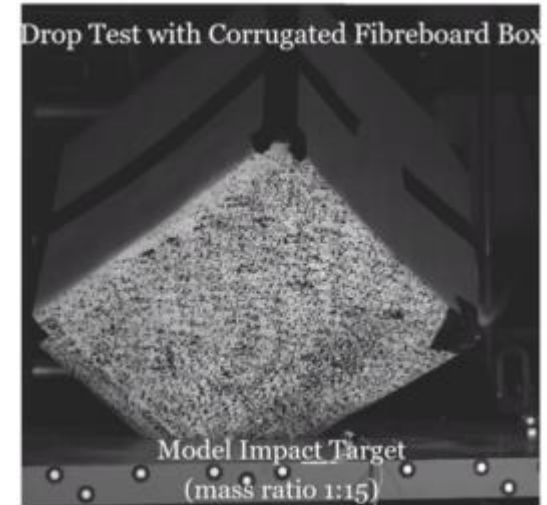


Messverfahren

Aufnahme der Impact-Daten



δ



Fundament	Massen-Verhältnis	Energieanteil in Fundamentbewegung, δ [%]	
		1A2 - Verpackung	4G - Verpackung
Modell	1:15	0.552	0.038
Fur	1:50	0.210	0.007
STANDARD	1:10,000	~ 0	~ 0

Aufgenommene Energie von Verpackungen
> 99 % der **Fallenergie** für alle Fallfundamente

Grenzwert
1.960 %



Ausblick

Status der Untersuchungen

Aufforderung zur **Überarbeitung** und **Anpassung** der **Anforderungen** für Fallfundamente in der Fallprüfung von Gefahrgutverpackungen

Regelwerkskonforme Fallversuche auf **Modellfundamente** mit Massenverhältnissen von **1:15**, **1:30** und **1:50** → **andere Parameter** auch **relevant**



Durchführung der **Versuchsreihe** **mittlere Versagensfallhöhe** für 2 Verpackungsbauarten

Variation des **Fundamentmaterials** (Betonplatten)

Einsatz von **numerischen Analysen** ergänzend in den Untersuchungen & **Sensitivitätsanalysen**

Veröffentlichung der Ergebnisse voraussichtlich 2023

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Nikolaos Lengas

Fachbereich 3.1 Gefahrgutverpackungen

Tel.: + 49 30 8104-3608

nikolaos.lengas@bam.de

www.bam.de